

群馬県前橋市に所在する「岩神の飛石」の熱ルミネッセンス年代測定

下岡 順直* 菅原 久誠** 早田 勉***
宮沢 竜一**** 能登 健*****

キーワード：「岩神の飛石」、熱ルミネッセンス法、年代測定、浅間山

1. はじめに

熱ルミネッセンス (Thermoluminescence, TL) 年代測定法は、石英や長石などの鉱物が加熱によりゼロリセットした後、現在までに浴びた自然放射線量 (蓄積線量) を、1年間に被曝する放射線量 (年間線量) で除することで年代を求める方法 (Aitken 1985) である。元来、TL法は土器の年代測定法として実用化されてきた (Kennedy and Knopff 1960) が、1980年代以降には噴火による加熱でゼロリセットされた溶岩や火山灰 (テフラ) 試料の年代測定としても用いられてきた (Guerin and Valladas 1980; Ichikawa et al. 1982)。関東北部地域においても、浅間山や榛名山、赤城山などから噴出したテフラのTL年代測定は行われており、鍵層となるテフラの数値年代決定として用いられてきた (例えば、下岡ほか2013)。

今回、群馬県前橋市昭和町に所在する「岩神の飛石」 (図1) と呼称される赤色巨礫 (以下、赤石と呼ぶ) に



図1 「岩神の飛石」の所在地

国土地理院発行2.5万分の1地形図「前橋」を使用

ついて、TL年代測定を行ったので報告する。この「岩神の飛石」は、これまで赤城山由来の転石とされてきたが、前橋市教育委員会が実施した調査により、浅間山の山体崩壊に起因した前橋泥流によって運ばれてきたものと推定された (前橋市教育委員会2016)。また、佐藤ほか (2017) による火山岩のストロンチウム (Sr) 同位体 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 比測定でも、浅間山起源の可能性が指摘され、前橋泥流による堆積物と示唆された。

前橋泥流が発生した時期としては、浅間山の噴火史において浅間板鼻褐色テフラ群が噴出した時期 (早田2016) に相当し、これまでに得られている放射性炭素 (^{14}C) 年代測定結果を整理すると約26 ka前後と推定される (下岡2016a)。佐藤ほか (2018) は、利根川河岸の前橋泥流が見られる露頭から採取した木片の ^{14}C 年代測定を行い、IntCal13モデル (Reimer et al. 2013) で暦年較正して27,180-26,589 calBP (2σ) の数値年代を得た。また、前橋泥流によって運ばれてきた赤石については、群馬県高崎市烏川聖石橋下流に所在する「聖石」と佐野橋南の溶結した紫色集塊岩 (通称「赤石」) についてTL年代測定を行い、22~34 kaという数値年代 (表1) を得ている (長友・下岡2003)。本研究では、「岩神の飛石」と前橋泥流の関連を年代学的に検証した。

表1 高崎市における「聖石」および「赤石」のTL年代 (長友・下岡2003)

試料名	蓄積線量 (Gy)	年間線量 (mGy/年)	年代 (年前)	測定方法
聖石	43.2±7.8	1.98±0.11	22000±4100	Poly-mineral
聖石	46.3±6.7	1.98±0.11	23000±3600	微粒子法
佐野橋南 (赤石)	74.1±19.6	2.17±0.11	34000±9200	Poly-mineral
佐野橋南 (赤石)	69.2±6.9	2.17±0.11	32000±3600	微粒子法

* 立正大学地球環境科学部
** 群馬県立自然史博物館
*** (株)火山灰考古学研究所
**** 前橋市教育委員会
***** 前橋市文化財調査委員会

「岩神の飛石」は、1938年（昭和13年）に国指定天然記念物に指定されているが、「岩神の飛石」の環境整備にともなって、今回、文化庁から前橋市教育委員会に現状変更の許可が下りたため、「岩神の飛石」から外観を保持しつつも、風化が進んでいない岩石を、南側面中央部付近（図2）から約80 g程度を1点採取した。



図2 「岩神の飛石」とTL年代測定用試料の採取場所（「岩神の飛石」中央部の矢印の先にある白丸の位置）

2. 試料処理および測定

試料の前処理は、立正大学地球環境科学部に設置した、明るさ約1 lx程度の暗室において、以下のとおり行った。まず、光曝している岩片表面を除去するために、岩片をフッ化水素酸20%溶液中に8時間浸した。その後、水道水で洗浄後乾燥させ、岩片表面に生成したフッ化物を削り落とした。次に、万力を用いて粉碎した。この際、粒度が50 μm以下の試料が殆どなかったため、約50~500 μmの粒度をふるい分けた。粒度分離後、試料を塩酸20%溶液で60分間洗浄し乾燥させ、最後に約75~150 μmの粒度を抽出して測定用試料（以下、ナチュラル試料）とした。

蓄積線量評価のためのTL測定は、立正大学地球環境科学部に設置してあるTL/OSL測定装置NRL-99-OSTL2-KU（下岡ほか2015）を用いて行った。測定条件は、昇温速度5℃/秒で100℃から500℃まで連続昇温法でTL測定を行った。検出波長は、310~440 nm（半値幅）とした。蓄積線量評価は、付加線量法を用いた。まず、ナチュラル試料のほかに、装置に装着してあるX線管球を用いて、ナチュラル試料に30、60、90 Gy付加照射した。低線量域補正には、一度TL測定した後に15、30、60、90 Gy照射して、再度TL測定を行った。

年間線量用には、粉碎した岩石片20 gを所定のプラスチックケースに封入した。そして、立正大学地球環境科学部に設置してあるキャンベラ製モデル7229P-7500SのGe半導体検出器（下岡ほか2018）を用いて、岩石中のU、Th、Kから放出されるγ線を計測した。その計測値を、産業技術総合研究所が提供する岩石標準試料（Imai et al. 1996）から作成した検量線を用いて、放射性元素濃度を見積もった。そして、Adamiec and Aitken（1998）の換算式を用いて、年間α線量、年間β線量、年間γ線量を計算した。また、年間宇宙線量は現在の地表面と同程度と仮定して、0.15 mGy/年とした。なお、試料とした岩石片中の含水比は0%と仮定した。

3. 結果

TL測定結果を図3に示す。今回TL測定した試料は粒度約75~150 μmの多鉱物試料であり石英はほぼ含まれていない。TL測定では、TL発光強度が相対的に強い長石からのルミネッセンスが主に観察されたと考えられる。長石からのTLには、異常減衰（anomalous fading）と呼ばれる現象（Wintle 1973）が報告されており、TL強度が実際よりも過小評価される可能性も考慮しておかなければならない。そのため、ここで見積もられる蓄積線量は、現段階ではみかけの総被ばく線量としておく。みかけの総被ばく線量は、温度に対して線量が安定しているかを付加照射試料のTL強度とナチュラル試料のTL強度の比で検討するプラトーテスト（Aitken 1985）を行い、安定したTL強度が得られる温度領域のTL強度を用いて

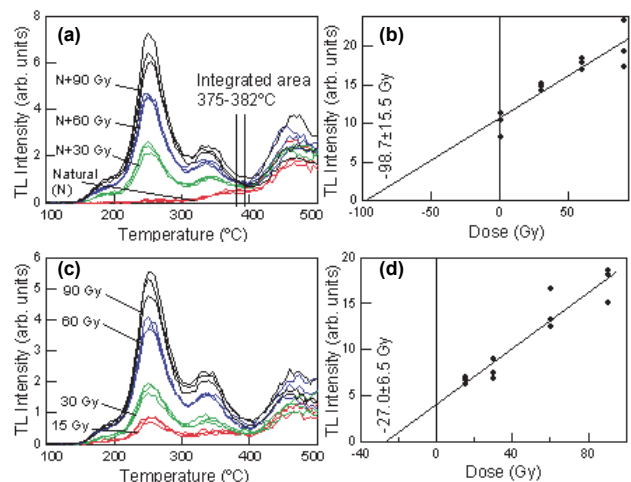


図3 TL測定結果

等価線量評価のためのTLグローカーブ（a）と生長曲線（b）、低線量域補正のためのTLグローカーブ（c）と生長曲線（d）

表2 「岩神の飛石」のTL年代測定結果

総被ばく線量 (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	K (wt%)	年間線量 (mGy/年)* ¹	TL年代 (ka)
71.6 ± 16.8	0.79 ± 0.21	3.04 ± 1.00	1.18 ± 0.14	2.16 ± 0.17	33 ± 8

*¹ 含水比補正無

作成した付加照射試料による線量応答曲線を外挿することで求まる等価線量と低線量域補正の和で求めた。その結果、約375~382°C付近にプラトー温度領域があり、試料のみかけの総被ばく線量は、等価線量98.7 ± 15.5 Gyおよび低線量域補正 - 27.0 ± 6.5 Gyより71.6 ± 16.8 Gyと求まった。

年間線量の評価では、今回の試料は蓄積線量評価で粒度約75~150 μmを用い、フッ化水素酸によるエッチング処理を行わず多鉱物を測定試料とした。そのため、年間線量は年間α線量、年間β線量、年間γ線量および年間宇宙線量の和で求め、その結果は2.16 ± 0.17 mGy/年であった。

以上の結果より、みかけの総被ばく線量を年間線量で除して求めた「TL年代」は33 ± 8 kaとなった(表2)。

4. 考察

浅間山起源の赤石に関して、高崎市聖石橋下流にある「聖石」と佐野橋南の「赤石」のTL年代が微粒子法を用いてそれぞれ23 ± 4 ka、32 ± 4 ka(表1)と求められている(長友・下岡2003)。また、前橋市教育委員会が実施した調査の際に行ったTL測定では、赤石4(赤岩弁天)(菅原2016から引用)で21 ± 4 kaと求められている(下岡2016b)。しかし、赤石2(とうけえ石)と赤石5(烏帽子岳)(以上、菅原2016から引用)では、みかけの総被ばく線量は4 Gyおよび18 Gyと過小評価であり(下岡2016b)、TLの異常減衰に起因すると考えられる。赤石2(とうけえ石)と赤石5(烏帽子岳)の試料はなるべく文化財としての価値を傷めないように採取したため、岩石のやや風化した部分を採取せざるをえなかった。やや風化した岩石試料が岩石薄片作成中にばらばらになることを防ぐために樹脂で固められており、TL用の試料処理でこの樹脂を完全に除去できなかったと考えられる。これらのことがみかけの総被ばく線量を過小評価させた一因の可能性もあり、これら結果は参考程度に留めたい。「聖石」、「赤石」、赤石4(赤岩弁天)や本報告の試料では、風化が起っていないより新鮮な岩石を採取したことで、プラトーテストを行った結果、安定したTL強度

が得られた。そのため、TL強度の異常減衰の影響はなかった、もしくは非常に小さく抑えられた可能性があり、みかけの総被ばく線量ではなく蓄積線量を求めることができたと考える。これまでの測定例においても、桜島薩摩テフラから抽出したポリミネラル微粒子(主に長石)を用いたTL年代測定では、校正した¹⁴C年代と一致するTL年代が得られており(Shitaoka et al. 2016)、長石のTLが必ずしも異常減衰をおこすとは限らないと考えられる。TLの異常減衰は、電子捕獲中心に熱的に準安定状態にある電子が、トンネル効果を起こして正孔中心の正孔と再結合するために生じるとされるが、なぜ異常減衰を起こすのかという物理的メカニズムは不明でそのメカニズムの解明が待たれる。また、TL強度のフェーディングテストや、異常減衰を起こさないと考えられるpIRIR信号を用いた測定(Buylaert et al. 2009)を併用するなどの検討も今後はあり得るだろう。

5. まとめ

前橋市に所在する赤石「岩神の飛石」についてTL年代測定を行った。その結果、TL年代33 ± 8 kaが得られた。これは、前述の前橋泥流や「聖石」、赤石4(赤岩弁天)の年代よりもやや古く、高崎市佐野橋南「赤石」の年代に近い値になった。その要因として、前橋泥流を起こした浅間山の山体崩壊では、前橋泥流以前に噴出した噴火物も山体の一部として崩壊したことが考えられる。今回のTL年代より、高崎市佐野橋南「赤石」や本報告試料の「岩神の飛石」は、約3万年前に浅間山から噴出し、その溶岩がその後の山体崩壊で発生した前橋泥流(約26 ka前後)によって前橋台地まで到達して堆積した可能性が示唆されるであろう。

謝辞

前橋市教育委員会には、測定する機会をいただいた。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

- Adamiec, G. and Aitken, M.J. (1998) Dose-rate conversion factors: update. *Ancient TL*, 16, 37-50.
- Aitken, M.J. (1985) *Thermoluminescence dating*. Academic Press, 359p.
- Buylaert, J.P., Murray, A.S., Thomsen, K.J. and Jain, M. (2009) Testing the potential of an elevated temperature IRSL signal from K-feldspar. *Radiation Measurements*, 44, 560-565.
- Guerin, G. and Valladas, G. (1980) Thermoluminescence dating of volcanic plagioclase. *Nature*, 286, 697-699.
- Ichikawa, Y., Hagihara, N. and Nagatomo, T. (1982) Dating of pyroclastic flow deposits by means of the quartz inclusion method. *PACT (Journal of the European Study Group on Physical, Chemical and Mathematical Techniques Applied to Archaeology)*, 6, 409-416.
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1996) 1996 compilation of analytical data on nine GSJ geochemical reference samples, "Sedimentary rock series", *Geostandards Newsletter*, 20, 165-216.
- Kennedy, G.C. and Knopff, L. (1960) Dating by thermoluminescence. *Archaeology*, 13, 147-148.
- 前橋市教育委員会 (2016) 国指定天然記念物「岩神の飛石」環境整備事業報告書. 78p.
- 長友恒人・下岡順直 (2003) 高崎市「聖石」に関連した熱ルミネッセンス年代測定. *新編高崎市史 通史編 I*, 80-81.
- Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Buck, C.E., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hafliðason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T.J., Hoffman, D.L., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., Manning, S.W., Niu, M., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Staff, R.A., Turney, C.S.M. and van der Plicht, J. (2013) IntCal 13 and Marine 13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 55-4, 1869-1887.
- 佐藤興平・南 雅代・鈴木和博・柴田 賢 (2017) 火山体崩壊に起因する火山災害軽減のためのパイロット研究：Sr同位体比から見えてきた巨石の天然記念物の起源. *名古屋大学年代測定研究*, I, 44-50.
- 佐藤興平・南 雅代・中村俊夫・柴田 賢・児嶋美穂・武者巖 (2018) 木片の¹⁴C年代測定による前橋泥流堆積時期の再検討（予察）. *群馬県立自然史博物館研究報告*, 22, 95-101.
- 下岡順直・竹村恵二・長友恒人 (2013) 日本列島における第四紀後期指標テフラの熱ルミネッセンス年代測定. *第四紀研究*, 52, 139-150.
- 下岡順直・波多野智・田邊和明・森美比古・青木智史・阪江修 (2015) OSL/TL自動測定装置NRL-99-OSTL2-KUの設計製作とX線管球の線量率較正. *地球環境研究*, 17, 107-110.
- 下岡順直 (2016a) 浅間板鼻褐色軽石群と前橋泥流の年代観—放射性炭素年代を中心に—. ナイフ形石器文化の発達期と変革期—浅間板鼻褐色軽石群降灰期の石器群—, 20-26.
- 下岡順直 (2016b) 熱ルミネッセンス法による「岩神の飛石」の分析. 国指定天然記念物「岩神の飛石」環境整備事業報告書, 75-77.
- Shitaoka, Y., Moriwaki, H., Akai, F., Nakamura, N., Miyoshi, M. and Yamamoto, J. (2016) Eruption age of Sakurajima-Satsuma tephra using thermoluminescence dating. *Bulletin of Geo-Environmental Science*, 18, 29-35.
- 下岡順直・清水隆一・北沢俊幸・川野良信 (2018) ゲルマニウム半導体検出器を用いたγ線スペクトロメトリーのシステム構築. *地球環境研究*, 20, 179-183.
- 早田 勉 (2016) 浅間板鼻褐色軽石群 (As-BP Group) の層序と前橋泥流堆積物の層位. ナイフ形石器文化の発達期と変革期—浅間板鼻褐色軽石群降灰期の石器群—, 6-14.
- 菅原久誠 (2016) 「岩神の飛石」の起源に関する岩石学的調査と分析. 国指定天然記念物「岩神の飛石」環境整備事業報告書, 60-74.
- Wintle, A.G. (1973) Anomalous fading of thermoluminescence in mineral samples. *Nature*, 245, 143-144.

Dating of 'Iwagami no Tobiishi' in Maebashi, Gunma, Japan, relevant to Asama Volcano using Thermoluminescence method

SHITAOKA Yorinao*, SUGAWARA Hisanari**, SODA Tsutomu***
MIYAZAWA Ryuichi****, NOTO Ken*****

* Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

** Gunma Museum of Natural History

*** Institute of Tephrochronology for Nature and History Co., Ltd.

**** Education Board of Maebashi

***** Maebashi City Cultural Properties Research Committee

Key words: 'Iwagami no Tobiishi', Thermoluminescence method, Dating, Asama Volcano

